

Recebido em 16 de Fevereiro de 1986

Características fitoplanctónicas indicadoras da produtividade de albufeiras: alguns casos de estudo

por

M^{te}. TERESA FERREIRA

Assistente do Instituto Superior de Agronomia

RESUMO

Foi realizada a caracterização físico-química de quatro massas de água de diferente produtividade, as albufeiras da Mula, Castelo de Bode e Pego do Altar e uma lagoa facultativa de Frielas, bem como perfis em profundidade do oxigénio, temperatura e condutividade. O fitoplancton foi identificado e estudadas algumas das suas características: bioindicadores e índices tróficos, riqueza, diversidade, densidade e biovolumes. Discute-se a importância e fiabilidade de cada uma delas para a caracterização expedita e precisa da produtividade primária das albufeiras de barragem.

SYNOPSIS

A physical and chemical characterization, as well as temperature, oxygen and conductivity profiles were made in the reservoirs Mula, Castelo de Bode and Pego do Altar, and also in a sewage oxidation lagoon. Phytoplankton was identified and characterized some of its features, namely trophic indicators and indices, richness, density, diversity and biovolume. The importance and reliableness of these characteristics are discussed in view of a rapid and precise water trophic state definition.

1 - INTRODUÇÃO

As designações oligo, meso e eutrófico foram empregues pela primeira vez por WEBER, em 1907, para descrever as condições nutritivas de solos alagados. Em 1919, NAUMANN utilizou estes termos para classificar lagos a partir da concentração de nutrientes e capacidade de manter uma população de fitoplankton mais ou menos densa.

Em 1925, THIENEMANN adoptava estes termos, descrevendo os dois tipos lacustres extremos da seguinte forma: lago oligotrófico, profundo, pobre em nutrientes e rico em oxigénio, distribuído de forma homogénea, povoado por um bentos oxífilo e espécies salmonícolas; e lago eutrófico, rico em nutrientes e com oxigénio distribuído de forma heterogénea, fauna bentónica adaptada à quasi-anóxia dos sedimentos espessos, fauna salmonícola ausente.

Finalmente, em 1969, HUTCHINSON aceitava em definitivo a tipologia trófica, enfatizando a importância dos materiais oriundos da bacia de drenagem bem como outros factores susceptíveis de modificar o potencial trófico. Às diferentes fases tróficas corresponderiam biotas característicos.

As albufeiras de barragem constituem sistemas lacustres, em geral instáveis, particularmente dependentes de factores climáticos e hidráulicos, e da utilização da sua bacia de drenagem. Os principais responsáveis por esta instabilidade e frequente eutrofização, são os períodos de seca e pluviosidade intensa, o arrastamento de nutrientes oriundos das actividades agrícolas e florestais, e a drenagem de efluentes agropecuários, urbanos e industriais.

O enriquecimento nutritivo das albufeiras, embora provocando a curto prazo um aumento da produtividade primária e, até certo ponto, secundária, resulta em alterações nefastas do biota, nomeadamente: aumento da densidade do microplankton (de dimensões superiores a 60μ) e expansão de cianofícias, com frequência tóxicas; disrupção das cadeias alimentares planctónicas, levando à predominância da via detritica, em detrimento da predatória; espessamento dos sedimentos orgânicos profundos, que se tornam anóxicos, tal como o hipolimnion, diminuindo ou desaparecendo a bentofauna existente; e circunscrição da ictiofauna ao epilimnion e a apenas algumas das espécies tolerantes, de baixo valor comercial e desportivo, como a carpa e o pimpão, podendo ocorrer mortalidades extensivas. Tais efeitos têm-se verificado seguramente nas

albufeiras do Divor, Maranhão e Roxo, e provavelmente far-se-ão sentir noutras albufeiras do sul do país.

Na nossa opinião, é urgente o recenseamento trófico e monitorização das albufeiras portuguesas, como quadro de referência para a gestão das suas bacias de drenagem e ordenamento aquícola. Embora as alterações tróficas afectem toda a comunidade, os produtores primários (fitoplancton) estão directamente envolvidos, e por isso a definição do estado trófico lacustre utiliza, regra geral, parâmetros físico-químicos e características do fitoplancton. Neste trabalho são estudados e analisados alguns parâmetros biológicos utilizáveis nessa definição trófica.

II - MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram colhidas entre 20 e 25 de Junho 1985, em condições atmosféricas semelhantes (sem nebulosidade), temperatura ambiente 24-25°C, e sensivelmente à mesma hora (11-13 h).

Seleccionaram-se para a amostragem as seguintes massas de água: Albufeira da Mula (R^a Mula, Sintra), Albufeira de Castelo de Bode (Rio Zêzere), Albufeira de Pego do Altar (Rio Sado) e lagoas facultativas de Frielas (E.T.A.R. de Loures).

A amostragem nas albufeiras foi realizada de barco, a 500m do paredão, com uma garrafa Van Dorn. Para os perfis de condutividade, oxigénio e temperatura utilizaram-se sondas YSI YellowSprings. A transparência foi avaliada por um disco de Secchi (DS). Para determinação do pH, alcalinidade, azoto amoniacal, nitritos, nitratos, fósforo reactivo e total e sílica reactiva, realizaram-se colheitas a várias profundidades, homogeneizaram-se e retirou-se uma amostra integrada. Para o fitoplancton procedeu-se de forma semelhante, mas só na zona trofogenica, cuja profundidade limite se definiu como 2,3 DS (em águas ibéricas, e de acordo com MARGALEF, comunicação pessoal).

A amostragem na lagoa facultativa, dada a sua pouca profundidade, foi realizada a 20-30 cm da superfície, com uma coluna de amostragem. Na análise química seguiu-se a metodologia indicada por MACKERETH e col.(1978) e STANDARD METHODS (1980).

O material biológico foi preservado em formalina a 1%, e a sua observação realizada num microscópio ZEISS de inversão. Para a contagem utilizou-se o processo de UTERMOHL, sendo considerados como indivíduos apenas células e agregados coloniais saudáveis.

Para a determinação de biovolumes utilizou-se o método das dimensões médias (VOLLENWEIDER, 1974) em que a forma da espécie é equiparada grosseiramente a sólidos geométricos. Nos agregados coloniais considerou-se o biovolume colonial médio, dada a dificuldade de contagem do número de células existente (e.g. *Dityosphaerium*, *Sphaerocystis*) e a presença frequente de invólucros e mucilagens (e.g. *Microcystis*, *Pandorina*). Contudo, em filamentos coloniais do tipo *Melosira* e *Fragilaria*, multiplicou-se o número médio de organismos da colónia pelo biovolume médio individual.

Embora doseados apenas pontualmente, os pigmentos clorofilinos foram extraídos com acetona a 90% e utilizadas as equações de PARSONS e STRICKLAND (1972).

III - BREVE CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA

A albufeira da Mula possui uma pequena bacia hidrográfica de abastecimento, de origem essencialmente pluvial, instalada sobre rochas graníticas. Trata-se de uma zona de pinhal, *Pinus pinaster*, e restos de carvalhais, *Quercus coccifera* e *Q. lusitanica*, com um sub-bosque dominado por *Pteridium aquilinum*, *Genista triacanthus*, *Ulex* spp. e *Erica* spp. Tem por objectivo a regularização da R^a da Mula e fornecimento de água potável a Cascais, para o qual possui uma Estação de Tratamento. A sua pouca produtividade, inferida *a priori* pelo local de implantação e águas afluentes, é coadjuvada pela proibição de actividades de recreio, natação e pesca nas suas margens.

A albufeira de Castelo de Bode, uma das de maior volume do país, está instalada numa região de rochas metamórficas, xisto-grauvaques e quartzitos, pobres em nutrientes (Quadro I). A paisagem é dominada por *Pinus pinaster*, *Quercus suber* e, em expansão, *Eucalyptus globulus*, com um estrato arbustivo de *Cistus ladanifer*, *Ulex parviflorus*, *Calluna vulgaris*, *Myrtis commu-*

nis e *Lavandula luisieri*. Às culturas arvenses de regadio e sequeiro tem vindo a juntar-se, de uma forma crescente, unidades agropecuárias; e desde os anos setenta intensificaram-se as actividades de lazer (aumento do número de vivendas, barcos a motor e população veraneante) que exercem uma pressão eutrofizacional a longo prazo, de efeitos desconhecidos.

QUADRO I

Características hidrométricas principais das quatro massas de água consideradas.

| | MULA | C. BODE | P. ALTAR | FRIELAS(FC1) |
|---------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------|----------------------------------|
| Área superficial(ha) | 7,6 | 3500 | 1600 | 324×10^{-4} |
| Volume (Hm ³) | 0,4 | 1100 | 94 | 324×10^{-6} |
| Prof. média (m) | 9,0 | 31 | 14,4 | 1,1 |
| Ano de instalação | 1932 | 1951 | 1949 | 1983 |
| Uso | Abastecimento e Regularização | Abastecimento e Hidroelectricidade | Rega e Abastecimento | Tratamento de águas residuais |

A albufeira de Pego do Altar está instalada numa zona de xistos, grauvaques e arenitos, ocupada por montado de sobre e azinho (*Quercus suber*, *Q. rotundifolia* e *Q. coccifera*), sob o qual predominam cistáceas (*Cistus ladanifer*, *C. monspeliensis* e *C. populifolius*) e *Lavandula stoechas*. A albufeira foi construída para responder às necessidades de rega da região do Sado, apresentando grandes variações do nível de água, que em anos secos (como 1983) podem levar ao seu esvaziamento. Assim, além da bacia hidrográfica contribuir com nutrientes, verifica-se a remobilização periódica do fósforo dos sedimentos do fundo.

O tratamento de águas residuais por lagunagem recria o processo de depuração natural lântica. Numa primeira lagoa realiza-se a decantação de sólidos grosseiros e primeira digestão via anaeróbia dos materiais orgânicos; nas lagoas seguintes, instaladas sequencialmente, completa-se a mineralização destes materiais, sendo o oxigénio necessário à decomposição anaeróbia fornecido bioquimicamente pela intensa proliferação de fitoplankton nas camadas superficiais. As lagoas estão instaladas em terreno argilo-arenoso, impermeabilizado; as concentrações elevadas de nutrientes nas águas depuradas mantêm níveis intensos de produção primária.

IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Os perfis realizados em profundidade (Fig.1) indicam uma estratificação estival bem marcada em C. Bode e P. Altar, com um termoclíneo sensivelmente entre os 5 e os 15 m, o gradiente de temperatura atingindo os 8°C em P. Altar. Os dados acumulados para águas ibéricas (excluindo as de altitude, como as pirenaicas) indicam regra geral uma monomixia quente (e.g. MARGALEF *et al.*, 1976; CABEÇADAS *et al.*, 1980; HAERING, 1981; BROGUEIRA, 1982; TOJA, 1984; GALHANO *et al.*, 1984).

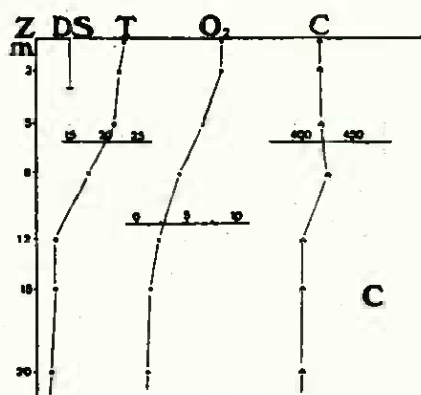
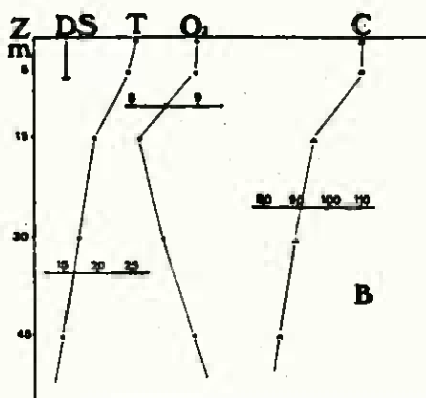
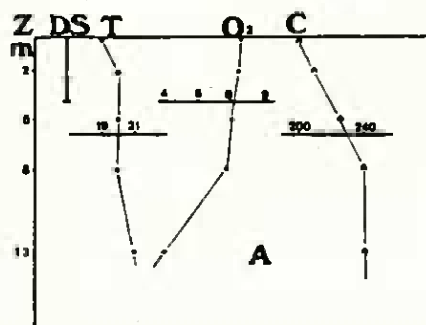
A albufera da Mula apresenta inversão térmica, e apenas estratificações incipientes ao longo do ano (FERREIRA, em preparação), ocorrência possivelmente atribuível ao seu volume e às condições ventosas existentes no local. Daí resulta também uma zona de perturbação junto aos sedimentos onde há maior condutividade e desoxigenação (Fig. 1 A, prof. máx. 14 m). C. Bode e P. Altar apresentam valores mais elevados de condutividade epilimnética associados às maiores concentrações planctónicas aí existentes.

Em C. Bode verifica-se uma diminuição do oxigénio dissolvido junto à base do termoclíneo, onde em águas pouco produtivas se julga ocorrer a maior parte da decomposição do seston em fase de sedimentação (CHARLTON, 1980). Contudo, dada a pouca produtividade da albufera e volume do hipolimnion, os teores de oxigénio hipolimnético são fracamente afectados. Em P. Altar, com uma produtividade esperada superior, verifica-se uma desoxigenação hipolimnética acentuada.

A limnosérie Mula-Frielas apresenta um crescente grau trófico (Quadro II) atribuído com base nos dados médios, para zonas temperadas, da transparência (DS) e fósforo total (mg/m³), do programa O.C.D.E. para o estudo da eutrofização (VOLLENWEIDER, 1979). Verifica-se um aumento geral da alcalinidade, pH, sólidos suspensos totais e nutrientes, e um decréscimo da transparência. Registe-se o consumo (verosimelmente biológico) de nitratos que ocorre em P. Altar. Frielas apresenta valores particularmente elevados em todos os parâmetros, em especial O₂ dissolvido, sólidos suspensos e formas de fósforo.

FIGURA 1

Transparência (DS) e perfis de temperatura (T, °C), oxigénio (O₂, mg/l) e condutividade (C, µmhos/cm) nas albufeiras da Mula (A), Castelo de Bode (B) e Pego do Altar (C).



A sílica apresenta valores sempre superiores a 2,5 mg SiO₂/l (62 µg SRS/l) não limitativos do crescimento dos organismos que delas necessitam, as diatomáceas e algumas crisofícias. De uma forma geral, aceita-se como 0,5 mg SiO₂/l a concentração a partir da qual há limitação do crescimento (SCHELSKE e STOERMER, 1971; TILMAN e KILHAM, 1976).

QUADRO II

Características físico-químicas das massas de água amostradas.

| | MULA | C.BODE | P.ALTAR | FRIELAS |
|--------------------------------------|--------------|------------------|-------------|----------------|
| Transparência (m) | 3,5 | 6,0 | 2,5 | 0,2 |
| Condutividade (sup.; umhos/cm) | 200 | 110 | 420 | 900 |
| O ₂ (sup.; mg/l) | 8,5 | 8,9 | 8,5 | 19 |
| SST (mg/l) | 2,0 | 2,8 | 2,4 | 149 |
| pH | 8,4 | 8,5 | 8,5 | 8,6 |
| Alcalinidade (mg/l) | 9 | 10 | 45 | 100 |
| SiO ₂ (mg/l) | >2,5 | >2,5 | >2,5 | >2,5 |
| NH ₄ ⁺ (mg/l) | 0,33 | 0,1 | 0,1 | 8,9 |
| NO ₂ ⁻ (mg/l) | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,06 |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | 0,16 | 5,7 | 2,2 | 7,6 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/l) | <0,15 | <0,15 | <0,15 | 16 |
| P total (ug/l) | 10 | 20 | 60 | 7500 |
| Estado trófico | Oligotrófica | Oligomesotrófica | Mesotrófica | Hipereutrófica |

2. COMPOSIÇÃO DO FITOPLANCTON

O estudo do fitoplancton revela diferenças significativas entre as várias massas de água (Quadros III a VI). A albufeira da Mula possui um perfil fitoplanctónico dominado por *Cocconeis placentula*, *Nitzschia palea*, *Crucigenia tetrapedia* e *Trachelomonas volvocina*, enquanto C. Bode é dominado por Clorococcales e Centróficias (*Cyclotella meneghiniana*, *C. stelliger*, *Elakatothrix gelatinosa* e *Sphaerocystis shroeteri*), tal como P. Altar (*Coscinodiscus lacustris*, *Melosira granulata*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Pediastrum simplex* e *Sphaerocystis shroeteri*), embora nesta última assumam particular importância a desmídea *Staurastrum sebaldi* e cianofícias, em especial *Microcystis aeruginosa*.

Das albufeiras consideradas existem alguns estudos anteriores de C. Bode e P. Altar. NAUWERK, em Junho de 1960, encontrou em C. Bode muitas formas de clorofícias (*Eudorina elegans*, *Volvox aureus*, *Chlorella pyrenoidosa*, vários *Scenedesmus* e *Ankistrodesmus*), bem como de diatomácias (*Melosira varians*, *M. distans*, *Tabellaria fenestrata*, várias *Synedra*). Além das formas *Chlorococcales* e *Centrales* não dominarem, são também então frequentes Pirofícias, representadas por várias *Rhodomonas* e *Cryptomonas*.

CABEÇADAS e col., em 1976, já referem como dominantes e/ou mais frequentes, em C. Bode, *M. distans*, *Cyclotella stelliger*, *Sphaerocystis shroeteri*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Crucigenia tetrapedia*, *Melosira granulata*, *Cyclotella operculata* e *Achnantes minutissima*, entre outras. BRITO (1981) encontrou uma dominância de *Melosira ambigua* e *M. distans*, mas também muito frequentes *C. stelliger*, *Synedra pulchella*, *Crucigenia tetrapedia*, *Scenedesmus ecornis* e *Coelastrum reticulatum*; e no outono, *Dynobryon sertularia*. Entre 1980 e 1985, embora continuem a dominar as *Centrales*, parece ter havido uma substituição preferencial de *Melosira* spp. para *Cyclotella* spp. (F. BRITO, comunicação pessoal), corroborada na presente amostragem.

P. Altar foi considerada por OLIVEIRA (em publ. a) como uma albufeira de média produtividade, com base no seu fitoplankton estival (1973-1975) dominado por Cianofícias e uma densidade entre 2 e 9 x 10⁶ cél./l. As espécies dominantes eram *Mycrocystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *Pediastrum duplex*, *Coelastrum microporum*, *Sphaerocystis shroeteri* e *Dictyosphaerium pulchellum*. A maior parte das espécies encontradas então são comuns às do presente estudo. NAUWERK (1962), contudo, encontrara em P. Altar um menor número de espécies, entre elas quatro de *Scenedesmus*, *Eudorina elegans*, *Pediastrum simplex*, mas também *Melosira distans*, *Cyclotella comta*, *Fragilaria construens*, e *Rhodomonas lacustris*, *R. minuta* e *Cryptomonas erosa*.

Algumas espécies ou grupos de espécies encontram-se regularmente em águas de dado estado trófico, ou seja, a transição da oligotrofia à eutrofia envolve alterações composicionais na comunidade. Desmídeas e Centrofícias, Crisofícias e Pirofícias estão associados a ambientes pouco produtivos, enquanto Clorococcales e Penatofícias, Euglenofícias e Cianofícias o estão a muito produ-

tivos (WETZEL, 1983).

QUADRO III

Estudo taxonómico, contagens e determinação de biovolumes na albufeira da Mula.

| | org/l | μ^3 | μ^3/ml |
|--------------------------------|-------|---------|-------------------|
| BACILLARIOPHYCEAE | | | |
| <i>Cocconeis placentula</i> | 8165 | 905 | 7300 |
| <i>Cymbella</i> sp. | 680 | 883 | 600 |
| <i>Diatoma vulgare</i> | 1631 | 3950 | 5400 |
| <i>Melosira granulata</i> | 2722 | 8000 | 21700 |
| <i>Navicula dicephala</i> | 1361 | 2487 | 3400 |
| <i>Nitzschia palea</i> | 21774 | 492 | 10700 |
| CHLOROPHYCEAE | | | |
| <i>Crucigenia tetrapedia</i> | 48996 | 345 | 17000 |
| <i>Oocystis parva</i> | 680 | 904 | 600 |
| <i>Pandorina morum</i> | 340 | 7238 | 2500 |
| <i>Pediastrum duplex</i> | + | 33510 | + |
| <i>Scenedesmus ecornis</i> | 5443 | 265 | 1300 |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | 680 | 1272 | 900 |
| <i>Staurastrum</i> sp. | 5443 | 2799 | 15200 |
| CHRYSOPHYCEAE | | | |
| <i>Mallomonas caudata</i> | 5443 | 10000 | 54400 |
| <i>Ceratium hirundinella</i> | + | 7000 | + |
| EUGLENOPHYCEAE | | | |
| <i>Trachelomonas volvocina</i> | 21774 | 1383 | 30400 |

Esta versão geral aplica-se às amostras estudadas, embora possam coexistir espécies atribuídas por vários autores a meios tróficos diferentes (RAWSON, 1956; MARGALEF, 1976; BARROIN, 1980; BROOK, 1981). Na albufeira da Mula, *Mallomonas caudata* e *Ceratium hirundinella* estão associados a meios pouco produtivos.

QUADRO IV

Estudo taxonómico, contagens e determinação de biovolumes na albufeira de Castelo de Bode.

| | org/l | μ^3 | μ^3 /ml |
|--------------------------------|--------|---------|-------------|
| BACILLARIOPHYCEAE | | | |
| <i>Achnantes minutissima</i> | 2494 | 198 | 600 |
| <i>Cocconeis placentula</i> | 1247 | 585 | 700 |
| <i>Cyclotella meneghiniana</i> | 19950 | 648 | 13000 |
| <i>Cyclotella stelliger</i> | 286783 | 1270 | 365000 |
| <i>Diatoma vulgare</i> | 4988 | 4350 | 21700 |
| <i>Denticula</i> sp. | + | 3900 | + |
| <i>Fragilaria crotonensis</i> | 7481 | 9720 | 73700 |
| <i>Hantzschia amphyois</i> | + | | + |
| <i>Melosira ambigua</i> | 310 | 225 | 100 |
| <i>Navicula cryptocephala</i> | 1247 | 848 | 1000 |
| <i>Nitzschia palea</i> | 2494 | 492 | 1200 |
| <i>Synedra ulna</i> | 624 | 4000 | 2500 |
| CHLOPHYCEAE | | | |
| <i>Crucigenia tetrapedia</i> | 2494 | 576 | 1400 |
| <i>Elakatothrix gelatinosa</i> | 162095 | 1005 | 162900 |
| <i>Kirchneriella lunaris</i> | 22444 | 4180 | 94000 |
| <i>Radiococcus nimbatus</i> | 4988 | 6912 | 34500 |
| <i>Scenedesmus acuminatus</i> | 310 | 936 | 300 |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | 624 | 1850 | 1200 |
| <i>Sphaerocystis shroeteri</i> | 24937 | 14130 | 352400 |
| <i>Staurastrum sebaldi</i> | 2494 | 9420 | 23500 |

OLIVEIRA (em publ. a) refere *Oocystis parva* e *Crucigenia tetrapedia* como características das albufeiras pouco produtivas do sul do país. Contudo, *Trachelomonas*, *Scenedesmus* e *Pediastrum* são típicos de meios muito produtivos e *Melosira granulata* (HUTCHINSON, 1967) parece ser a diatomácia mais característica de águas centro-europeias eutróficas; esta espécie é das mais abundantes e constantes no potamoplankton da bacia do Guadiana (FERREIRA, em preparação).

Também em Castelo de Bode se verificam coexistências. *C. stelliger* e *Achnantes minutissima* estão claramente associadas a

QUADRO V

Estudo taxonômico, contagens e determinação de biovolumes na albufeira de Pegó do Altar.

| | org/l | μ^3 | μ^3/ml |
|-----------------------------------|-------|---------|-------------------|
| BACILLARIOPHYCEAE | | | |
| <i>Coscinodiscus lacustris</i> | 13977 | 1884 | 26300 |
| <i>Cyclotella meneghiniana</i> | 7292 | 648 | 4700 |
| <i>Fragilaria crotonensis</i> | 10330 | 4710 | 48600 |
| <i>Melosira granulata</i> | 17015 | 1017 | 17300 |
| CHLOROPHYCEAE | | | |
| <i>Ankistrodesmus falcatus</i> | 7292 | 250 | 1800 |
| <i>Closterium aciculare</i> | 6077 | 4000 | 24300 |
| <i>Cosmarium punctulatum</i> | 7292 | 14130 | 10300 |
| <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> | 12153 | 4186 | 50800 |
| <i>Oocystis parva</i> | 9103 | 604 | 14600 |
| <i>Pediastrum simplex</i> | 24307 | 33493 | 814100 |
| <i>Pediastrum tetras</i> | + | 9198 | + |
| <i>Radiococcus nimbatus</i> | 7900 | 904 | 7100 |
| <i>Scenedesmus ecornis</i> | 10330 | 302 | 3100 |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | 1519 | 834 | 1300 |
| <i>Schroederia setigera</i> | 9115 | 628 | 5700 |
| <i>Sphaerocystis shroeteri</i> | 24307 | 14130 | 343500 |
| <i>Staurastrum sebaldi</i> | 36460 | 9420 | 343500 |
| CYANOPHYCEAE | | | |
| <i>Anabaena spiroides</i> | 4861 | 252 | 1200 |
| <i>Gomphosphaeria lacustris</i> | + | 2000 | + |
| <i>Merismopedia tenuissima</i> | 1823 | 8 | + |
| <i>Microcystis aeruginosa</i> | 17015 | 65416 | 1113000 |
| <i>Oscillatoria</i> sp. | 3040 | 238 | 800 |
| EUGLENOPHYCEAE | | | |
| <i>Trachelomonas volvocina</i> | 9723 | 1383 | 13500 |
| <i>Euglena viridis</i> | 3040 | 6560 | 19900 |

situações de oligotrofia, enquanto *Fragilaria crotonensis*, *Staurastrum sebaldi*, *Elakatothrix gelatinosa* e *Synedra ulna* o estariam a mesotrofia.

QUADRO VI

Estudo tazonómico, contagens e determinação de biovolumes na lagoa de Frielas.

| | org/l | μ^3 | μ^3/ml |
|--------------------------------|----------|---------|-------------------|
| BACILLARIOPHYCEAE | | | |
| <i>Navicula cryptocephala</i> | 3830 | 848 | 3300 |
| CHLOROPHYCEAE | | | |
| <i>Oocystis (parva ?) sp.</i> | 116034 | 885 | 102700 |
| <i>Pandorina morum</i> | 609756 | 4186 | 2552400 |
| <i>Sphaerocystis shroeteri</i> | 30643 | 11488 | 352000 |
| EUGLENOPHYCEAE | | | |
| <i>Euglena gracilis</i> | 18058943 | 2486 | 44890500 |
| <i>Euglena rostrifera</i> | 355691 | 602 | 214100 |
| <i>Euglena sp.</i> | 304878 | 4924 | 1501200 |

Em P. Altar, *Ankistrodesmus falcatus* e *Closterium aciculare* estão associados a meios pouco produtivos, enquanto OLIVEIRA (em publ. a) encontra *Dictyophaerium pulchellum* e *Gomphosphæria lacustris*, bem como *Anabaena* e *Microcystis*, caracteristicamente em albufeiras produtivas a sul do Tejo. MARGALEF *et al.* (1976) considera também os géneros *Sphaerocystis*, *Kirchneriella* e *Pediastrum* pertencentes a águas muito produtivas. Entre o estudo de NAUWERK, em 1960, e os dados actuais, parece ter havido uma alteração composicional considerável, possivelmente indicadora de um avanço trófico.

A classificação trófica a partir de bioindicadores apresenta contradições, resultando insatisfatória, embora as espécies mais abundantes se enquadrem em geral na trofia atribuída. Nas razões invocáveis para este facto contam-se: um espectro largo de intergradações na sequência oligo-eutrofia, bem como formas regionais com diferentes requerimentos nutritivos; o conhecimento incompleto ou inadequado das tolerâncias ecológicas de muitas espécies (algumas mesmo euritróficas); as variações sazonais regulares (aumento de indicadores oligotróficos no inverno e eutróficos no verão), cf. STEWART e WETZEL, 1986; e ainda uma certa instabilidade hidrométrica e nutritiva associada às albufeiras de barragem.

Apesar de hipereutrófica, a lagoa de Frielas é dominada por Euglenofícias e Clorofícias. Com efeito, em águas naturais, o aumento de produtividade está associado ao dos teores de fósforo (nutriente limitante primário, *vide* Relatório OCDE, 1981) daí resultando uma limitação secundária de azoto e vantagem para as Cianofícias fixadoras, que tendem a expandir-se e dominar a comunidade, como em P. Altar. Na lagoa de Frielas, o fornecimento de fósforo e azoto é constante e abundante, pelo que as Cianofícias não ocorrem.

Numa tentativa de quantificar a relação entre dados grupos taxonómicos e a produtividade aplicaram-se às albufeiras os dois índices tróficos mais utilizados, o composto de NYGAARD, 1949 (n° esp. Cianofícias + n° esp. Clorococales + n° esp. Centrofícias + n° esp. Euglenofícias/ n° esp. Desmídeas) e o de STOCKNER, 1971 (n° esp. Arafídeas/ n° esp. Centrofícias). Valores inferiores a 1 indicam meios pouco produtivos e superiores a 1 o contrário.

Dada a escassez de Desmídeas encontradas, o índice de NYGAARD (1949) resulta sobrestimado no caso de Castelo de Bode e P. Altar, indicando produtividade baixa para a Mula. O de STOCKNER (1971) atribui grande peso eutrófico às Arafídeas, que estão pouco representadas na amostragem, considerando as Centrofícias indicadoras de oligotrofia, o que frequentemente não se verifica, pelo menos a sul do Tejo. Os resultados deste índice não apresentam relação com a produtividade.

Pelas razões apontadas para as espécies indicadoras, e acrescentada a arbitrariedade de escolha dos grupos considerados e a sua posição nos índices, concluiríamos que tão pouco estes reflectem o estado trófico das albufeiras. Já LAMBOU *et al.* (1983) tinham verificado que os índices taxonómicos (incluindo os de PALMER, 1959) não apresentavam qualquer correlação significativa com os parâmetros DS, P total, N/P, biovolumes ou clorofila *a*, em 44 lagos naturais e artificiais estudados.

3. DIVERSIDADE E ABUNDÂNCIA

As albufeiras estudadas apresentam, por ordem trófica crescente, um aumento na riqueza em espécies e no biovolume total

e individual médio (Quadro VII). A diversidade (H' de Shannon-Weaver, 1949, assumindo em H' max que $n_i=1$) e o número total de organismos por litro são variáveis, embora em geral baixos. A lagoa de Frielas possui diversidade muito baixa, densidade e biovolume total elevados.

QUADRO VII

Características fitoplantónicas das massas de água estudadas.

| | MULA | C. BODE | P. ALTAR | FRIELAS |
|-----------------------------|--------|---------|----------|----------|
| Riqueza (n° esp.) | 17 | 20 | 24 | 7 |
| Org/l | 125400 | 548000 | 228000 | 20027200 |
| Biovolume(μ^3 /ml) | 179000 | 1149700 | 2865400 | 49620200 |
| H' | 2,79 | 1,99 | 4,05 | 0,74 |
| H'/H' max | 0,16 | 0,11 | 0,22 | 0,03 |
| I.C.NYGAARD (1949) | 0,2 | 8 | 5,3 | — |
| I.STOCKNER (1971) | 1 | 1 | 0,3 | — |

De acordo com WETZEL (1983), lagos (ultra)oligotróficos, oligomesotróficos, mesoeutróficos e (hiper)eutróficos teriam, respectivamente, biovolumes totais de <1 , 1-3, 3-5 e $>10 \text{ cm}^3/\text{m}^3$, o que colocaria as quatro águas estudadas no 1º, 2º e 4º níveis, possivelmente uma subestimativa das albufeiras da Mula e P. Altar.

É comumente aceite que a porporção relativa das espécies nanoplantónicas diminui com o aumento da temperatura e da produtividade da água (CAPBLANCQ, 1982), isto é, o tamanho das algas dominantes é maior, bem como os biovolumes celulares médio e total. Tal facto está provavelmente relacionado com a actividade fotossintética mais intensa do nanoplankton (P/B elevada) e uma favorável razão superfície/volume em águas com poucos nutrientes (GLIWICZ, 1975).

O aumento da pressão predatória e consumo pelo zooplankton em épocas de fertilidade crescente, favorece igualmente a dominância de algas de dimensões superiores, sobretudo formas coloniais e/ou filamentosas, de Bacilariofícias, Clorofícias e Cianofícias, pouco exploráveis pelo zooplankton filtrador (WEBSTER e PETERS, 1978), com uma razão P/B baixa e grande capacidade de acumulação de reservas nutritivas (MARGALEF, 1984). Em lagos oligotróficos domina o ultraplankton e nanoplankton, e a biomassa

é pequena ($B_{max}:B_{min} < 1:20$) enquanto em lagos eutróficos se dá o desenvolvimento maciço de microplancton, sobretudo no verão ($B_{max}:B_{min} > 1:30$). KALFF e KNOECHEL (1978) citam como biomassas estivais médias características de águas oligotróficas e eutróficas, respectivamente 100 e 100000 mg/m³ de peso seco.

As albufeiras da Mula e Castelo de Bode apresentam espécies dominantes de pequeno biovolume (e.g. *Crucigenia tetrapedia*, *Trachelomonas volvocina*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella stelliger*, *Elakatothrix gelatinosa*) enquanto em Pego do Altar são mais comuns as formas grandes e coloniais como *Melosira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Pediastrum simplex*, *Oocystis parva*, *Sphaerocystis shroeteri* e *Microcystis aeruginosa*. Em Frielas, um meio muito específico, surgem formas atípicas como *Euglena* sp., possivelmente uma variação fenotípica de *E. gracilis*.

Verificou-se uma variação considerável nas dimensões de várias espécies, intra e interamostras, como no caso de *Pediastrum simplex*, *Pandorina morum*, *Synedra ulna* e *Microcystis aeruginosa*. Também o número de células em colónias filamentosas se apresentou muito variável (em especial em *M. granulata* e *F. crotonensis*).

Quando CABEÇADAS e col., em 1976, realizaram o estudo de Castelo de Bode, encontraram uma predominância de nanoplankton, com especial incidência de *Melosira distans*, e densidade e biomassa médias anuais, respectivamente de 440000 ind/l e 20,2 mg/m³, concluindo por oligotrofia, embora os valores de P total e transparência apontassem para uma zona limite com a mesotrofia. De resto, já NAUWERK (1962) aí encontrara um biovolume de 500 µ³/l. BRITO (1981) encontrou densidades semelhantes às do estudo de 1976 e uma clorofila *a* anual média de 1,8 µg/l (máximo outonal de 5,5 µg/l). Nos anos seguintes, as formas de *Cyclotella* passaram a dominar e registaram-se crescimentos extensos de macrófitas em ribeiras tributárias da albufeira drenando áreas onde foram instaladas agropecuárias (M. PÁSSARO, SEA, comun. pessoal).

A amostragem presente revelou uma densidade e biovolume bastante superiores, tal como o teor de P total; a clorofila *a* correspondente era de 3,9 mg/m³. Trata-se de uma amostragem estival, que reflecte variações sazonais; todavia, justificar-se-ia um estudo regular da albufeira de modo a ser detectada qualquer evolução trófica ocorrente.

Admite-se em geral existir um aumento da riqueza em espécies, e sua densidade, em águas de fertilidade crescente, resultando do aumento da concentração em nutrientes. SCHULTZ e col. (1976), estudando dois lagos adjacentes, um deles culturalmente eutrofizado, encontraram neste último uma composição fitoplanctónica diferente, maior riqueza, e abundância seis vezes superior. OLIVEIRA (1982 a, b, c; em publ. b, c), em amostragens realizadas em albufeiras da bacia hidrográfica do Tejo, encontrou médias populacionais anuais crescentes com a produtividade, embora um número total de espécies muito variável.

O aumento das dimensões do fitoplancton tende a favorecer a sua descoberta e identificação; se, paralelamente, a zona litoral se desenvolver, o aumento do número de espécies pode estar associado ao aumento de mero e ticoplancton. Outros factores são a velocidade e experiência do identificador, o número de subamostras consideradas e a abundância de espécies coloniais, o que levou alguns autores, como KALFF e KNOECHEL (1978), a manifestar cepticismo sobre a existência de uma relação directa entre riqueza, densidade e produtividade. De facto, em P. Altar, o número de org./l apresenta um valor muito baixo, sobretudo devido à abundância de *Microcystis* (colónias). O biovolume dá-nos uma imagem mais correcta da produtividade desta albufeira. A este propósito, refira-se que NAUWERK (1962) encontrou em P. Altar um biovolume de $1000 \mu^3/l$, consideravelmente mais baixo que o actual.

Condições oligotróficas contêm uma elevada diversidade, enquanto em sistemas submetidos a um processo de eutrofização diminui a diversidade. MARGALEF (1984) demonstra uma relação inversa entre a diversidade e a densidade de fitoplancton, e a eutrofia. A abundância de formas coloniais, contudo, sobrestima a diversidade, como é o caso de P. Altar. Águas hipereutróficas ($>100 \mu g Pt/l$) apresentam diversidades muito baixas devido às condições especiais do meio, como é o caso da lagoa de Frielas. Frequentemente ocorrem "bloom", definidos por PALMER (1959) como uma agregação e/ou crescimento concentrado de fitoplancton, com densidades da ordem dos $10^7 ind./l$, ou superiores. Trata-se, em geral, de apenas uma ou duas espécies, neste caso *Euglena gracilis*.

V - CONCLUSÕES

Tanto o recurso a bioindicadores tróficos como a índices (dos do tipo PALMER, NYGAARD ou STOCKNER), resultam insatisfatórios na definição biológica rápida e precisa do grau trófico das albufeiras. Refira-se ainda que uma identificação até à espécie exige tempo e experiência por parte do investigador. O estudo do perfil planctónico e sua evolução sazonal podem todavia ser necessários para o conhecimento da produtividade e metabolismo aquáticos, particularmente no caso de repovoamento piscícola continuado.

A riqueza em espécies e número total de organismos por unidade de volume tão pouco nos parecem dar uma imagem segura do estado trófico. A densidade, e concomitantemente a diversidade, vêm afectadas pela ocorrência de formas coloniais consideradas em geral como indivíduos. Ora a densidade real corresponde à contagem celular, relativamente fácil de realizar em espécies como *Melosira*, *Fragilaria* ou mesmo *Merismopedia*, *Pediastrum*, *Scenedesmus* e *Radiococcus*, mas quase impossível em espécies como *Microcystis*, *Gloeocystis*, *Volvox* e outras, para as quais se teria que utilizar disrupção (sónica, por exemplo) que produz com frequência danos celulares e resulta em contagens muito morosas.

A determinação de biovolumes, sobretudo pelo método aproximativo das dimensões médias, parece ser a característica comunitária mais fiável, podendo ser determinada sem se recorrer à identificação até à espécie. Para um recenseamento trófico regular e expedito das albufeiras de barragem, é provavelmente o parâmetro mais indicado (ou em alternativa o teor clorofilino total) conjuntamente com os parâmetros transparência e fósforo total.

Tais considerações não invalidam a necessidade de uma caracterização extensiva regional dos ciclos planctónicos (bem como físico-química e macrobentónica), como a já realizada em Espanha (MARGALEF e col., 1976). Ou ainda do quantitativo ictiofaunístico, preferências tróficas e ciclo de vida, em curso nas albufeiras espanholas do Tejo e Guadiana (F. SANCHO e C. GRANADO, Univ. de Sevilla, comun. pessoal). Sem estes dados limnológicos de base, dificilmente se encetará o ordenamento aquícola de que as nossas albufeiras tanto necessitam.

AGRADECIMENTOS

Expressamos os nossos agradecimentos ao Laboratório da ex-Direcção de Serviços de Controle da Poluição (Ministério da Habitação e Obras Públicas) pela ajuda prestada na determinação dos nutrientes da água.

BIBLIOGRAFIA

- BARROIN, G. (1980) — Eutrophisation, pollution nutritionnelle et restauration des lacs. Em *La Pollution des Eaux Continentales*. PESSON, P. (ed.). Gauthiers-Villars. Paris.
- BRITO, M. F. (1981) — *Estudo Biológico da Qualidade da Água na Albufeira de Castelo de Bode*. Estágio de Licenciatura em Biologia, 33 pp.+ Anexo. F.C.L.
- BROGUEIRA, M. J. (1982) — Características químicas da albufeira de Idanha. *Bol. Inst. Nac. Inv. Pescas*, 8:41-67
- BROOK, A. J. (1981) — Dynamic des populations et qualité de l'eau, avec une référence spécial aux Desmidiées. Em *Dynamique des Popultions et Qualité de L'Eau*. HOESTLANDT, H. (ed.). Gauthiers-Villars. Paris.
- CABEÇADAS, M. G.; CAVACO, M. H.; MONTEIRO, M. T. e M. R. OLIVEIRA (1980) — Estudo limnológico da albufeira de Castelo de Bode. *Bol. Inst. Nac. Inv. Pescas*, 4:1-47.
- CAPBLANQ, J. (1972) — Phytoplankton et production primaire. Em *Ecologie du Plancton des Eaux Continentales*. POURRIOT, R.(ed.). Masson. Paris.
- CHARLTON, M. N. (1980) — Hypolimnion oxygen consumption in lakes: discussion of productivity and morphometric effects. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37:1531-1539.
- GALHANO, M. H.; BRANCO, R. e M. C. GUIMARÃES (1984) — Condições ambientais e piscicultura em jaulas flutuantes. Caracterização prévia e sua evolução. Actas do Col. Nac. Conservação das Zonas Ribeirinhas. *Bol. Liga Protecção Natureza*, 18:147-155.
- GLIWICZ, Z. M. (1975) — Effect of zooplankton grazing on photosynthetic activity and composition of phytoplankton. *Vehr. Int. Verein. Limnol.*, 15:365-374.
- HAERING, F. J. (1981) — Introduccion à un estudo limnológico del embalse de Pinilla, Madrid. *Actas del I Congresso Español de Limnología*. Barcelona, pp.75-82.
- HUTCHINSON, E. (1967) — Eutrophication, past and present. Symp. *Eutrophication, Causes, Consequences, Correctives*. Nat. Acad. Sci. Washington, pp.17-28.

- KALFF, J. e R. KNOECHEL (1978) — Phytoplankton and their dynamics in oligotrophic and eutrophic lakes. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 9:475-495.
- LAMBOU, V. W.; TAYLOR, W. D.; HERN, S. C. e L. R. WILLIAMS (1983) — Comparison of trophic state measurements. *Wat. Res.*, 17:1619-1626.
- MACKERETH, F. J.; HERON, J. e F. J. TALLING (1978) — *Water Analysis*. Freshwater Biological Association Publ., nº 36. Windermere.
- MARGALEF, R. (1984) — *Limnología*. Omega. Madrid.
- MARGALEF, R.; PLANAS, D.; VIDAL, A.; ARMENGOL, J.; PRAT, N.; TOJA, J.; GUISET, A. E M. ESTRADA (1976) — *Limnología de los Embalses Españoles*. Publ. Dir. Gen. Obras Hidraulicas. M.O.P. Madrid.
- NAUMANN, E. (1919) — Nagra synpunkter angående planktons okologie. *Svensk. bot. Tidskr.*, 13:129-158.
- NAUWERK, A. (1962) — Zur systematic und okologie Portugiesisher plankton algen. *Mem. Soc. Brot.*, 15,54p.
- NYGAARD, G. (1949) — Hydrobiological studies of some danish pods and lakes. *Biol. Skr.*, 7, 239p.
- OCDE REPORT (1981) — International programme on eutrophication *Wat. Qual. Bull.*, 6:152-160.
- OLIVEIRA, M. R. (1982a) — Composição específica, densidade e dinâmica sazonal do fitoplankton das albufeiras da Bouça, Cabril, S. Luzia e Pracana. *Bol. Ins. Nac. Inv. Pescas*, 8:5-25.
- OLIVEIRA, M. R. (1982b) — Fitoplankton da albufeira da Idanha. *Bol. Inst. Nac. Inv. Pescas*, 8:69-79.
- OLIVEIRA, M. R. (1982c) — *Estudo Limnológico das Albufeiras de Belver e Fratel*. Inst. Nac. Inv. Pescas. Lisboa.
- OLIVEIRA, M. R. (em publ. a) — Contribuição para o conhecimento das comunidades fitoplanctónicas das albufeiras a sul do Tejo. *Bol. Inst. Nac. Inv. Pescas*.
- OLIVEIRA, M. R. (em publ. b) — Dinâmica sazonal do fitoplankton numa albufeira eutrofizada: blooms e sucessão de espécies na albufeira do Divor. *Bol. Inst. Nac. Inv. Pescas*.

- OLIVEIRA, M. R. (em publ. c) — Estrutura da comunidade fitoplanctónica dos blooms da albufeira da Maranhão. *Bol. Inst. Nac. Inv. Pescas*.
- RAWSON, D. S. (1956) — Algal indicators of trophic lake type. *Limnol. Ocean.*, 1:18-25.
- PALMER, C. M. (1959) — *Algae in Water Supplies*. U.S. Dpt. Health, Education and Welfare. Washington.
- PARSONS, T. L. e J. D. STRICKLAND (1963) — Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Mar. Res.*, 21:155-163.
- SCHELSKE, C. L. e E. F. STOERMER (1971) — Eutrophication, silica depletion and predicted changes in algal quality in lake Michigan. *Sci.*, 173:423-424.
- SCHULTZ, D. W.; MALUEG, K. W. e P. D. SMITH (1976) — Limnological comparison of culturally eutrophic Shagawa Lake and adjacent oligotrophic Burntside Lake. *Amer. Midland Natural.*, 96:160-178.
- SHANNON, C. E. e W. WEAVER (1949) — *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois Press. Urbana. 125p.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (1980) — APHA. AWWA. WPCF. New-York.
- STEWART, A. J. e R. G. WETZEL (1986) — Cryptophytes and other microflagellates as couplers in planktonic community dynamics. *Arch. Hydrobiol.*, 106:1-19.
- STOCKNER, J. G. (1971) — Preliminary characterization of lakes in the Experimental Lakes Area, northwest Ontario, using diatom occurrences in sediments. *J. Fish. Res. Board Can.*, 28:265-275.
- THIENEMANN, A. (1925) — *Die Binnengewasser Mitteleuropas*. Stuttgart Schuweizerbartsche, Stuttgart, 225 p.
- TILMAN, D. e S. S. KILHAM (1976) — Phosphate and silicate growth and uptake kinetics of the diatoms *Asterionella formosa* and *Cyclotella menegheniana* in batch and semi-continuous cultures. *J. Phycol.*, 12:375-383.
- TOJA, J. (1982) — *Limnología de los Embalses para Abastecimento de Águas a Sevilla*. Tesis Doctoral. Univ. Sevilla, 180 p.

- VOLLENWEIDER, R. A. (1979) — The nutrient loading concept as a basis for the external manipulation of the process of eutrophication in lakes and reservoirs. *Jour. Wat. Wastwat. Res.*, 12:45-56.
- WEBER, C. A. (1907) — Aufbau und vegetation der Moore Norddeutschlands. *Beibl. bot. Jahrb.*, 90:19-34.
- WEBSTER, K. E. e R. H. PETERS (1978) — Some size dependent inhibitions of large cladoceran filterers in filamentous suspensions. *Limnol. Ocean.*, 23:1238-1245.
- WETZEL, R. G. (1983) — *Limnology*, 2nd ed. Saunders. London.

